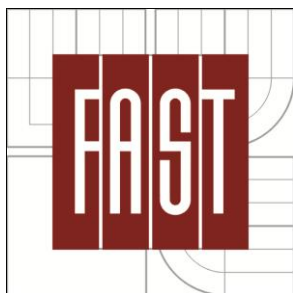


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# **LABORATORNÍ VLASTNOSTI ASFALTOVÝCH POJIV VHODNÝCH PRO ZÁLIVKOVÉ HMOTY A ASFALTOVÉ MEMBRÁNY**

LABORATORY PROPERTIES OF BINDERS SUITABLE FOR HOT APPLIED SEALANTS AND  
BITUMINOUS MEMBRANES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**VLADIMÍR MUSIL**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**PROF. ING. JAN KUDRNA, CSC.**

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Vladimír Musil
<b>Název</b>	Vlastnosti asfaltových pojiv vhodných pro zálivkové hmoty a asfaltové membrány
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Předané vzorky asfaltových pojiv a pryžových granulátů,  
ČSN EN pro zálivky za horka, pro zkoušení asfaltových pojiv a specifikace pro  
asfaltová pojiva,  
ASTM D 6117-97 Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder,  
Technické podmínky TP 115, TP 147, TP 148  
Dostupná další literatura

## **Zásady pro vypracování**

Cílem práce je určení laboratorních vlastností několika asfaltových pojiv (silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a polymerem modifikovaný asfalt s přísadou pryžového granulátu). Pro popis vlastností budou provedeny zkoušky dynamické viskozity, penetrace jehlou, penetrace kuželem, bodu měknutí, resilience a vratné duktility.

## **Předepsané přílohy**

.....  
prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

V práci jsou popsány základní laboratorní vlastnosti vybraných asfaltových pojiv, které by mohly být vhodné pro zálivkové hmoty za horka a asfaltové membrány. Jedná se o silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a polymerem modifikovaný asfalt s přísadou pryžového granulátu. Vlastnosti jednotlivých pojiv byly srovnány pomocí zkoušky dynamické viskozity, penetrace jehlou, penetrace kuželem, bodu měknutí, resilience a vratné duktility.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Dynamická viskozita, penetrace jehlou, penetrace kuželem, bod měknutí, resilience, vratná duktilita, zálivka za horka, asfaltová membrána.

## ABSTRACT

The work describes the basic laboratory characteristics of selected asphalt binders that could be suitable for hot applied sealants and bituminous membranes. Paving grade bitumen, polymer modified bitumen, asphalt-rubber and polymer modified bitumen with crumb rubber addition were used. Properties of binders were compared using tests of dynamic viscosity, needle penetration, cone penetration, softening point, resilience and elastic recovery.

## KEYWORDS

Dynamic viscosity, needle penetration, cone penetration, softening point, resilience, elastic recovery, hot applied sealant, bituminous membrane.

MUSIL, Vladimír. *Laboratorní vlastnosti asfaltových pojiv vhodných pro zálivkové hmoty a asfaltové membrány*. Brno, 2013. 36 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

## PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto velice nepatrným gestem bych rád projevil obrovský vděk mé rodině za podporu mé vzdělanosti. Za většinu svých nabytých vědomostí v rámci této práce vděčím panu Ing. Ondřejovi Daškovi, pro kterého nebyl žádný z mých dotazů zbytečný. Děkuji panu prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc. za umožnění mé činnosti v tomto oboru. V neposlední řadě děkuji mým přátelům Mgr. Radimovi Duškovi za typografickou korekci a Bc. Petře Ludvíkové za dočištění stylistických nedostatků.

# OBSAH

Obsah.....	8
Cíle práce .....	9
Úvod.....	10
1 Použité předpisy .....	11
1.1 TP115.....	11
1.2 TP 147.....	12
1.3 TP 148.....	13
1.4 Dynamická viskozita asfaltových pojiv .....	14
1.5 Penetrace jehlou asfaltových pojiv .....	14
1.6 Penetrace kuželem asfaltových pojiv .....	15
1.7 Bod měknutí asfaltových pojiv.....	16
1.8 Pružná regenerace asfaltových pojiv .....	16
1.9 Vratná duktilita asfaltových pojiv .....	17
2 Použité materiály .....	18
2.1 Asfaltová pojiva .....	18
2.2 Pryžový granulát .....	19
3 Příprava zkušebních vzorků.....	20
4 Výsledky zkoušek .....	22
4.1 Dynamická viskozita při teplotě 175 °C .....	22
4.2 Penetrace jehlou při teplotě 25 °C.....	23
4.3 Penetrace kuželem při teplotě 25 °C.....	24
4.4 Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička .....	24
4.5 Penetrace a pružná regenerace (resilience) .....	25
4.6 Vratná duktilita při teplotě 25 °C.....	26
4.7 Celková matice výsledků.....	28
Závěr .....	29
Seznam použitých vzorů .....	31
Seznam příloh .....	33



## CÍLE PRÁCE

Cílem práce bude určení laboratorních vlastností několika asfaltových pojiv (silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a polymerem modifikovaný asfalt s přísadou pryžového granulátu). Pro popis vlastností budou provedeny zkoušky dynamické viskozity, penetrace jehlou, penetrace kuželem, bodu měknutí, resilience a vratné duktility.

## ÚVOD

Silniční síť v České republice je vystavena velmi nepříznivým teplotním vlivům od občasných  $-30^{\circ}\text{C}$  v zimních měsících do  $+60^{\circ}\text{C}$  v letních měsících. Některé extrémní teplotní změny se odehrávají během velmi krátkého intervalu v řádech dní. Vlivem teplotních změn dochází teplotní roztažností k objemovým změnám stavebních materiálů. Pro stmelené materiály pak platí, že pokud smršťováním vyvolané napětí ve vrstvě přesáhne pevnost materiálu vrstvy, pak dochází k trhlinám, nejčastěji příčným kolmo na podélnou osu silnice. Pokud takové trhliny vzniknou v cementem stmelených podkladech, prokopírují se přes asfaltové vrstvy až na povrch vozovky. V asfaltových vrstvách vnikají na povrchu a opakovanými teplotními cykly mohou postihnout opět celou tloušťku asfaltových vrstev

Proti těmto vlivům můžeme použít nejrůznějších geosyntetických materiálů, výztužných prvků, ale i zálivkových hmot či pružných asfaltových membrán. Ceny všech těchto prvků jsou relativně vysoké a míst pro jejich potřebné použití je mnoho, proto je jedním z motivů práce najít vhodný materiál pro některé z těchto prvků.

Asfaltové pružné membrány jsou aplikovány distributorem asfaltového pojiva, který je běžně schopen zpracovat asfaltové postřiky o běžné dynamické viskozitě. Pro vyšší dynamické viskozity je možná aplikace jen za podmínky montáže speciálních trysek. V zahraničí existují asfaltové postřikovače, jež jsou přímo určeny na vysoko-viskózní asfalty, nebo i dokonce na asfaltová pojiva modifikovaná pryžovým granulátem, které jsou schopny aplikovat asfalty s vysokou dynamickou viskozitou.

Zálivkové hmoty za horka jsou nenahraditelným materiálem v silničním stavitelství pro jejich neobyčejně pestré využití. Hlavní předností těchto prvků je schopnost dilatace v nepříznivých silových i teplotních podmínkách. Jejich využití najdeme pro sanace nejrůznějších trhlin pozemních komunikací, spáry namáhané teplotními vlivy a neméně potřebné izolační schopnosti.

# 1 POUŽITÉ PŘEDPISY

Technické normy obsahující požadavky na užití vlastnosti pojiv pro daný účel použití jako asfaltové membrány a zálivkové hmoty jsou TP 115 (Opravy trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem), TP 147 (Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky) a TP 148 (Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem)

Laboratorní zkoušky pojiv se provádějí podle zkušebních norem ČSN EN 13302 (Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem), ČSN EN 1426 (Stanovení penetrace jehlou), ČSN EN 13880-2 (Zkušební metoda pro stanovení penetrace kuželem při 25 °C), ČSN EN 1427 (Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička), ČSN EN 13880-3 (Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace „resilience“) a ČSN EN 13398 (Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů).

## 1.1 TP115

Předpis vymezuje mimo jiné definici druhů trhlin, postupy pro návrh opravných prvků a určuje materiálové požadavky. Jedním ze zdrojů pro posouzení zkoušených pojiv byly i následující tabulky s požadavky na asfaltové membrány a zálivky za horka.

**Tabulka 1: Požadavky na asfaltová pojiva pro provedení asfaltové pružné membrány podle TP 115**

Vlastnost	Jednotka	Požadavek min.	Požadavek max.	Zkoušeno dle
<i>Modifikované asfalty :</i>				
Penetrace při 25 oC	0,1 mm	45	-	ČSN EN 1426
Bod měknutí K.K.	°C	60	-	ČSN EN 1427
Bod lámavosti dle Fraasse	°C	-	-12	ČSN EN 12593
Vratná duktilita při 25 °C	%	80	-	ČSN EN 13398
Skladovací stabilita	°C	-	5,0	ČSN EN 13399
Pracovní teplota	°C	170	195	
<i>Emulze modifikované :</i>				
Obsah pojiva	% hm.	58		ČSN EN 1428
Vratná duktilita	%	80		ČSN EN 13398
Třída štěpitelnosti		3 - 4		
Pracovní teplota	°C	50 - 70		

*Poznámka : V případě, že použitá hmota pro provedení asfaltové pružné membrány nesplňuje v tabulce uvedené parametry, je nezbytné, aby zhotovitel prokázal vhodnost této hmoty pro daný účel. Objednatel prokázání vhodnosti posoudí a odsouhlasí její použití.*

**Tabulka 2: Požadavky na asfaltová pojiva pro zálivkové hmoty za horka podle TP 115**

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Bod měknutí K.K.	°C	85	-	ČSN EN 1427
Penetrace kuželem při 25 °C	0,1 mm	40	100	ČSN EN 13880-2
Penetrace a pružná regenerace	%	60	-	ČSN EN 13880-3
Tepelná odolnost, penetrace kuželem	0,1 mm	40	100	ČSN EN 13880-4
Tepelná odolnost, pružná regenerace.	%	60		ČSN EN 13880-4
Odolnost proti tečení	mm		2	ČSN EN 13880-5
Kompatibilita s asfaltovou vozovkou		Žádné poruchy přilnavosti		ČSN EN 13880-9
Pevnost vazby – adheze/koheze		Bez poruch		ČSN EN 13880-13

## 1.2 TP 147

Tyto technické podmínky stanovují použití prvků do konstrukčních vrstev vozovek. Specifikují požadavky na SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) vrstvy, tedy pružné asfaltové membrány, do mezivrstev vozovek. Tyto vrstvy propojuje a umožňuje do určité míry jejich vzájemný nezávislý pohyb. Požadavky na ně jsou prezentovány v následující tabulce.

**Tabulka 3: Požadavky na pojiva použitá pro asfaltovou membránu**

Vlastnost	Jednotka	Požadavek min.	Požadavek max.	Zkoušeno dle
<b>a) modifikovaný asfalt</b>				
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	40		ČSN EN 1426
Bod měknutí K.K.	°C	65 <sup>1)</sup>		ČSN EN 1427
Bod lámavosti podle Fraasse	°C		- 18	ČSN EN 12593
Vratná duktilita při 25 °C	%	80		ČSN EN 13398
Skladovací stabilita	°C		5,0	ČSN EN 13399
Pracovní teplota	°C	170	195	
<b>b) modifikovaná emulze (vyrobená z modifikovaného asfaltu dle ČSN EN 14023 a splňující parametry ČSN EN 13808)</b>				
Obsah pojiva	% hm.	63		ČSN EN 1428
Vratná duktilita na zpětně získaném pojivu	%	80		ČSN EN 13398
Třída štěpitelnosti		3-5		
Pracovní teplota	°C	60-75		

<sup>1)</sup> Pro asfaltové membrány na cementobetonové kryty se z důvodu možných vertikálních pohybů desek vyžaduje bod měknutí K.K. min. 75 °C

Pozn.: Na základě nových znalostí nejsou parametry uvedené v tab.1 TP 115:2009 platné.

Na základě poznámky uvedené pod touto tabulkou se ruší parametry na požadavky pro asfaltovou membránu z TP 115.

### 1.3 TP 148

Tento předpis určuje požadavky na pojiva modifikovaná pryžovým granulátem vhodná pro asfaltové směsi. Popisuje drobné změny některých laboratorních zkoušek asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem sloužící pro zpřesnění výsledků zkoušek. V dané normě jsou charakterizovány postupy samotné přípravy pojiva. V normě je definován termín CRmB (Crumb Rubber modified Bitumen) jako označení pro asfaltová pojiva modifikovaná pryžovým granulátem.

Důležitou součástí je popis vnitřního průběhu reakce asfaltového pojiva<sup>1</sup> s pryžovým granulátem.

Při modifikaci asfaltu pryžovým granulátem dochází k těmto jevům:

1. Při teplotě vyšší než 160 °C pryžový granulát v asfaltu absorbuje relativně nízkomolekulární látky (maltény) se současným nárůstem objemu částic pryže (bobtnání). Bobtnáním dochází ke zvýšení viskozity pojiva a pojivo získává pružné vlastnosti. Rychlost této reakce závisí zejména na teplotě asfaltu a druhu pryžového granulátu.

2. Absorpce nízkomolekulárních látek zvyšuje relativní podíl asfalténů v asfaltové fázi a tím se i nadále zvyšuje viskozita.

3. Při delší době vystavení teplotě převyšující 160 °C dochází k postupnému zmenšení částic pryže působením devulkanizace a depolymerizace, přičemž viskozita a pružnost (resilience) CRmB pozvolna klesají.

4. Výrobce stanoví časový průběh reakce asfaltu s pryžovým granulátem a vliv devulkanizace a depolymerace granulátu na vlastnosti CRmB. Z těchto zjištění výrobce určuje teplotu CRmB a odpovídající dobu do zpracování CRmB včetně zabudování asfaltové směsi do vozovky.

5. Částice pryže v CRmB také sedimentují (pokud se nepoužijí přísady) a ve spodní části zásobníku je asfalt viskóznější než v části horní.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Vhodnými pojivy doporučenými TP 148 jsou běžné silniční asfalty 50/70 nebo 70/100.

<sup>2</sup> TP 148, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební Brno, 2011, s. 5

## 1.4 DYNAMICKÁ VISKOZITA ASFALTOVÝCH POJIV

ČSN EN 13302 se týká stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. Dynamická viskozita je poměr použitého smykového napětí a smykové rychlosti vyjádřená v jednotkách [Pa.s], jde o odolnost proti tečení. Měří se rotačním vřetenovým viskozimetrem, který pomocí válcového či kruhového vřetena vloženého do pojiva vyvozuje odpor proti otáčení. Viskozitu lze měřit v širokém rozsahu teplot. V rámci bakalářské práce byla dynamická viskozita stanovena příručním analogovým vřetenovým viskozimetrem typu HAAKE při teplotě 175 °C. Tato teplota se běžně používá při aplikaci prvků, jako jsou SAMI a zálivkové hmoty. Hodnoty dynamické viskozity jsou důležitým ukazatelem zpracovatelnosti materiálu mechanizačním zařízením.

**Obrázek č. 1: Příruční analogový vřetenový viskozimetr typu HAAKE**



## 1.5 PENETRACE JEHLLOU ASFALTOVÝCH POJIV

Předpis ČSN EN 13880-2 uvádí postup pro stanovení hodnoty penetrace jehlou asfaltových pojiv. Penetrace jehlou je vyjádřena penetrační jednotkou [0,1 mm], která udává hloubku průniku jehly stanoveného tvaru, hmotnosti a rozměrů do asfaltového pojiva temperovaného na teplotu 25 °C pod zatížením 100 g po dobu 5 s. Výsledek se určí ze 3 platných měřených hodnot.

Penetrace CRmB se měří na místech hladkých a lesklých a stanovují se 4 výsledky; do průměru se nejnižší naměřená penetrace nezapočítává.<sup>3</sup>

**Obrázek č. 2: Temperování vzorků na penetrometru**



## 1.6 PENETRACE KUŽELEM ASFALTOVÝCH POJIV

Uvedená norma popisuje zkušební metodu pro stanovení penetrace kuželem při teplotě 25 °C. Tato zkouška není nejběžnější laboratorní charakteristikou asfaltových pojiv, přesto na ni požadavky pro splnění podmínek TP 115 pro záливkové hmoty za horka existují. Jedná se o průnik mosazného kuželu přesně stanoveného tvaru, hmotnosti a rozměru do asfaltového pojiva pod zatížením 150 g po dobu 5 s. Výsledná hodnota se udává v penetračních jednotkách [0,1 mm].

---

<sup>3</sup> TP 148, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební Brno, 2011, s. 5



## 1.7 BOD MĚKNUTÍ ASFALTOVÝCH POJIV

Norma popisuje určení bodu měknutí metodou kroužek a kulička. Stanovuje se teplota propadu kuličky asfaltovým pojivem o 25 mm ponořeného v kapalině, ve které se konstantně zvyšuje teplota o 5 °C/min. Výsledná hodnota se určí jako průměr ze dvou výsledných hodnot ve [°C].

Při měření bodu měknutí kulička předtím, než se dotkne základní desky, někdy poruší vrstvu CRmB, kterou je obalena, nebo lze pozorovat odlepení CRmB od kuličky; taková měření jsou platná, pokud splňují podmínku přípustného rozdílu dvou měření.<sup>4</sup>

**Obrázek č. 3: Stanovení bodu měknutí metodou kroužek kulička**



## 1.8 PRUŽNÁ REGENERACE ASFALTOVÝCH POJIV

Zkušební metoda slouží pro stanovení penetrace a pružné regenerace „resilience“. Měří se v penetrometru s nástavcem s kuličkou. Na počátku zkoušky se nechá nástavec penetrovat samovolně po dobu 5s do vzorku temperovaného na teplotu 25 °C. Poté se zatlačí o 10 mm (100 p.j.) do vzorku za 10 s. Následuje zajištění aretace na dobu 5 s. Posledním krokem je uvolnění aretace na 20 s a bezprostředně po uplynutí této doby se aretace opět zajistí a přečte se hodnota penetrometru. Určuje se ze tří zkoušek na jednom vzorku. Výsledkem zkoušky je hodnota „resilience“, tedy schopnost materiálu navrátit se do původního stavu vyjádřená v procentech.

<sup>4</sup> TP 148, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební Brno, 2011, s. 5



## 1.9 VRATNÁ DUKTILITA ASFALTOVÝCH POJIV

Podle této normy se určuje vratná duktilita modifikovaných asfaltů. Připravený vzorek se temperuje na teplotu 25 °C, následně je protahován rychlostí 50 mm/min na cílovou hodnotu 200 mm. Hned po dosažení hranice 200 mm se protažený vzorek uprostřed přeruší. Výsledná hodnota je procentuální navrácení vzorku do původního stavu za 30 min.

## 2 POUŽITÉ MATERIÁLY

### 2.1 ASFALTOVÁ POJIVA

Prvním z použitých pojiv byl běžný silniční asfalt výrobce OMV gradace 50/70 dovezený z Rakouska (rafinerie Schwechat). Maximální teplota požadovaná při výrobě je 180 °C. Výsledky zkoušek provedených na tomto asfaltovém pojivu se shodovaly s produktovým listem uváděným výrobcem a jsou uvedeny v tabulce č. 7.

**Tabulka č. 4: Produktový list OMV asfalt 50/70<sup>5</sup>**

Vlastnosti produktu OMV asfalt 50/70 podle EN 12591			
Požadavek/ Vlastnost		Jednotka	Mezní hodnoty
Konsistence při střední zkušební teplotě	Penetrace při 25°C	x0,1 mm	50 - 70
Konsistence při zvýšené zkušební teplotě	Bod měknutí	°C	46 - 54
Stálost (odolnost vůči stárnutí při 163°C)	Změna hmotnosti	%	≤ 0,5
	Zbýlá penetrace	%	≥ 50
	Bod měknutí po stárnutí	°C	≥ 48
	Zvýšení bodu měknutí	°C	≤ 9
Další charakteristiky	Bod vzplanutí	°C	≥ 230
	Bod lámavosti dle Fraasse	°C	≤ - 8
	Rozpustnost	% (m/m)	≥ 99
	Dynamická viskozita při 60°C	Pa.s	≥ 145
	Kinematická viskozita při 135°C	mm²/s	≥ 295
	Obsah parafinů	% (m/m)	≤ 2,2

Dalším použitým pojivem byl polymerem modifikovaný asfalt OMV Starfalt® PmB<sup>6</sup> 45/80 - 65. Maximální teplota požadovaná při výrobě je 190 °C. Výsledky zkoušek odpovídaly údajům uvedeným na produktovém listě výrobce a jsou uvedeny v tabulce č. 7.

**Tabulka č. 5: Produktový list OMV Starfalt® PmB 45/80 - 65<sup>7</sup>**

Vlastnosti produktu OMV Starfalt® PmB 45/80-65 podle EN 14023				
Požadavek / Vlastnost		Jednotka	Třída	Mezní hodnoty
Konsistence při střední zkušební teplotě	Penetrace při 25°C	x0,1 mm	4	45-80
Konsistence při zvýšené zkušební teplotě	Bod měknutí	°C	5	≥ 65
Koheze	Silová duktilita	J/cm <sup>2</sup>	2	≥ 3 (5°C)
	Zkouška v tahu při 5°C	J/cm <sup>2</sup>	0	NPD
	Zkouška kyvadlem Vialit	J/cm <sup>2</sup>	0	NPD
Stálost (odolnost vůči stárnutí při 163°C)	Změna hmotnosti	%	3	≤ 0,5
	Zbýlá penetrace	%	7	≥ 60
	Zvýšení bodu měknutí	°C	2	≤ 8
Další charakteristiky	Bod vzplanutí	°C	2	≥ 250
	Bod lámavosti dle Fraasse	°C	8	< - 18
	Vratná duktilita při 25°C podle EN 12607-1	%	2	≥ 70

<sup>5</sup><http://www.omv.cz/>

<sup>6</sup>PmB - Polymer modified Bitumen

<sup>7</sup><http://www.omv.cz/>

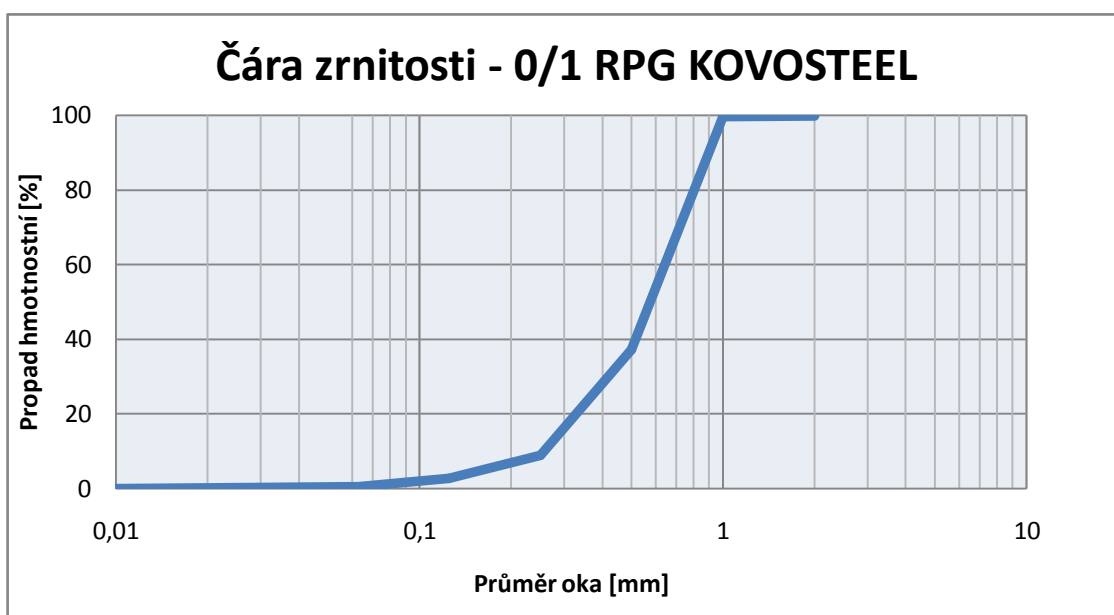
## 2.2 PRYŽOVÝ GRANULÁT

Použit byl pryžový granulát zrnitosti 0/1 výrobce RPG Kovosteel z Uherského Brodu, který byl zpracován metodou nožových mlýnů. Na pryžovém granulátu byl proveden síťový rozbor, jehož výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 6 a grafu č. 1.

**Tabulka č. 6: Stanovení zrnitosti pryžového granulátu**

Stanovení zrnitosti - 0/1 RPG KOVOSTEEL				
Vel. ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]	Celkové zbytky [%]	Propad [%]
2	0,20	0,21	0,21	99,79
1	0,20	0,21	0,42	99,58
0,5	59,40	62,33	62,75	37,25
0,25	26,90	28,23	90,98	9,02
0,125	6,00	6,30	97,27	2,73
0,063	2,00	2,10	99,37	0,63
Dno	0,60	0,63	100,00	0,00
Celkem	95,30	100,00		

**Graf č. 1: Čára zrnitosti pryžového granulátu**



### 3 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

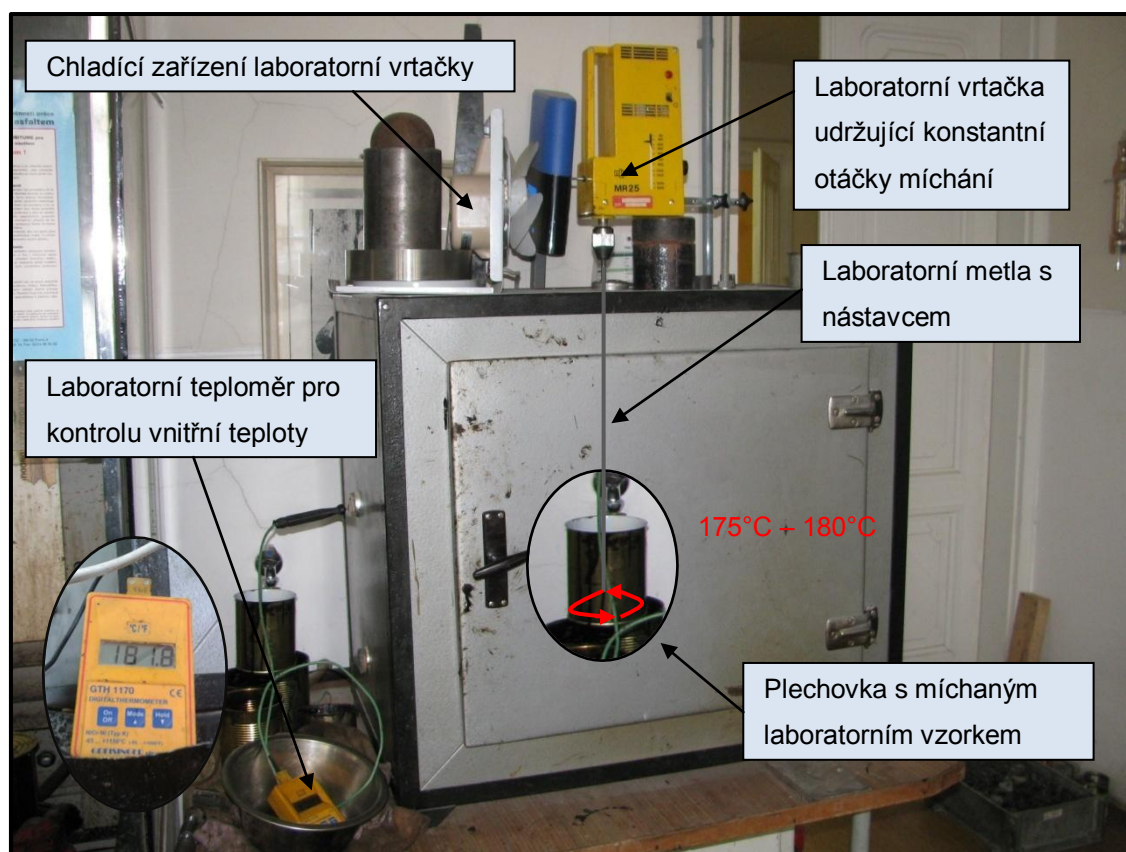
Pro popis laboratorních vlastností jednotlivých pojiv bylo vyrobeno osm zkušebních vzorků následujícího složení:

- 1 Silničního asfalt 50/70,
- 2 Polymerem modifikovaný asfalt Starfalt 45/80 (PmB),
- 3 Směs asfaltů 67 % silničního asfaltu 50/70 a 33 % polymerem modifikovaného asfaltu Starfalt 45/80 (PmB),
- 4 Příklad 10 % pryžového granulátu frakce 0/1 Kovosteel do 90 % polymerem modifikovaného asfaltu Starfalt 45/80 (PmB) včetně reakčního času,
- 5 Příklad 18 % pryžového granulátu frakce 0/1 Kovosteel do 55 % silničního asfaltu 50/70 a 27 % polymerem modifikovaného asfaltu Starfalt 45/80 (PmB) včetně reakčního času,
- 6 Modifikovaný silniční asfalt 50/70 10 % pryžového granulátu frakce 0/1 Kovosteel včetně reakčního času,
- 7 Příklad 20 % pryžového granulátu frakce 0/1 Kovosteel, do 53 % silničního asfaltu 50/70 a 27 % polymerem modifikovaného asfaltu Starfalt 45/80 (PmB) včetně reakčního času,
- 8 Příklad 20 % pryžového granulátu frakce 0/1 Kovosteel do 80 % polymerem modifikovaného asfaltu Starfalt 45/80 (PmB) včetně reakčního času.

Výroba vzorků pojiv, jejichž součástí je silniční asfalt a polymerem modifikovaný asfalt současně (např. 2/3 50/70 + 1/3 PmB), byla provedena prvotním smísením těchto dvou pojiv v plechovce v laboratorní sušárně při teplotě 150 °C po dobu 45 minut.

Míchání CRmB bylo provedeno v sušárně při teplotách od 175 °C do 180 °C laboratorní míchačkou opatřenou speciální metlou vsunutou do sušárny při konstantních otáčkách 150 ot./min po dobu 1 hodiny. V této době došlo k reakci asfaltu s pryžovým granulátem. Pryžový granulát byl dávkován do asfaltových pojiv množstvím vyjádřeného procentuálním zastoupením z celkového objemu vzorku (např. pojivo s 20 % pryžového granulátu obsahuje 20 % pryžového granulátu a 80 % asfaltu).

**Obrázek č. 4: Laboratorní sušárna určená pro míchání CRmB**



Na jednotlivých pojivech byla ihned po namíchání určena v plechovce hodnota dynamické viskozity rotačním vřetenovým viskozimetrem typu HAAKE při teplotě 175 °C.

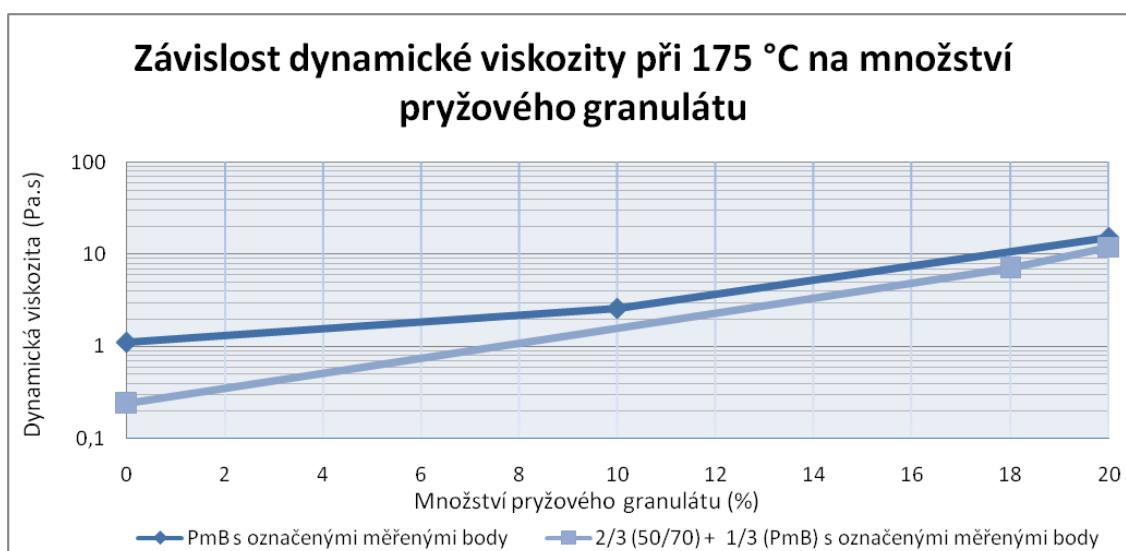
Vyrobené vzorky pojiv byly z plechovky přelity do penetračních misek pro provedení zkoušky penetrace jehlou a penetrace kuželem, do kroužků pro určení bodu měknutí a do forem pro provedení zkoušky vratné duktility.

## 4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

### 4.1 DYNAMICKÁ VISKOZITA PŘI TEPLITĚ 175 °C

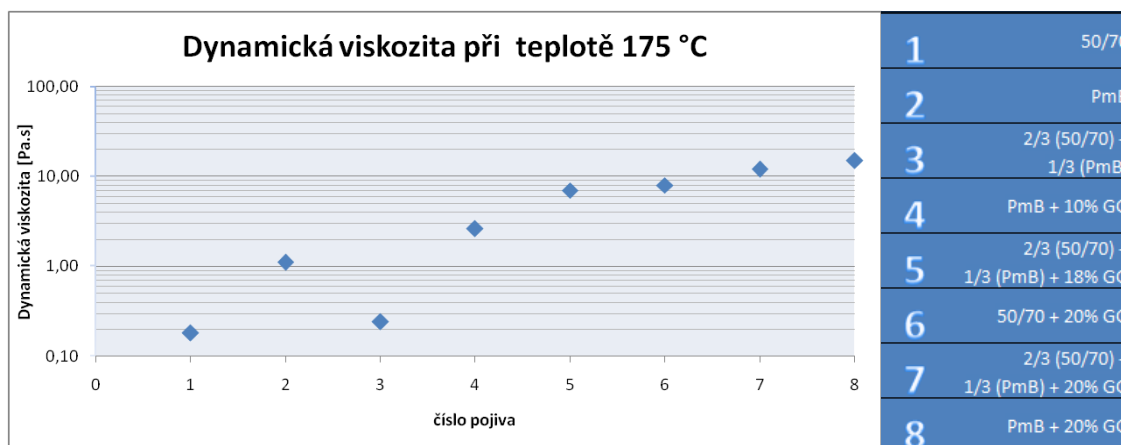
Dynamická viskozita modifikovaných asfaltů je kromě teploty a rychlosti přetvoření závislá na druhu modifikace a na množství modifikačního prvku. Asfalty modifikované pryžovým granulátem vykazují vysoké hodnoty dynamické viskozity. Je to způsobeno nejen samotnou přítomností pryžového granulátu, ale i bobtnáním pryžového granulátu a absorpcí lehkých složek asfaltu (malteny) do částic pryže, jak již bylo uvedeno v TP 148.

**Graf č. 2: Závislost dynamické viskozity při teplotě 175 °C na množství pryžového granulátu**



Zvýšené hodnoty dynamické viskozity polymerem modifikovaných asfaltů jsou způsobeny přítomností polymerní přísady a vnitřními vazbami, které polymery v pojivu vytvářejí.

**Graf č. 3: Výsledky zkoušek dynamických viskozit při teplotě 175 °C**



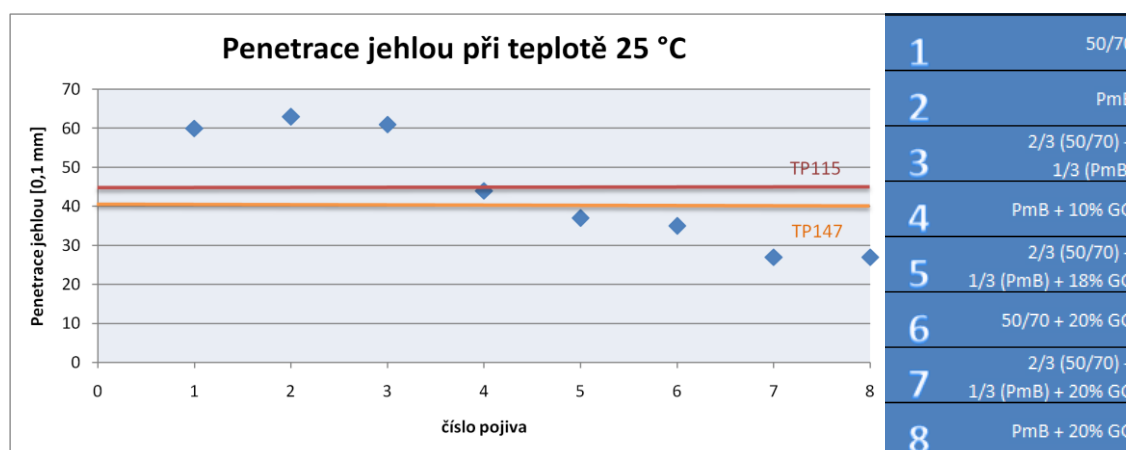
Z naměřených hodnot dynamických viskozit vyplývá, že pro zpracování asfaltů asfaltovým postřikovačem v běžných podmínkách ČR jsou vhodné vzorky 1, 2, 3 a 4.

## 4.2 PENETRACE JEHLOU PŘI TEPLITĚ 25 °C

Výsledky penetrace jehlou při teplotě 25 °C jsou opět ovlivněny způsobem modifikace použitých asfaltů. Zatímco modifikace pryžovým granulátem penetraci výrazně snižuje, polymerem modifikované pojivo ji mírně zvyšuje.

V následujícím grafu jsou znázorněny minimální hranice pro splnění požadavků na asfaltové pružné membrány podle TP 115 a TP 147.

**Graf č. 4: Výsledné hodnoty penetrace jehlou při teplotě 25 °C**



Vyhovujícími pojivy na současně platnou TP 147 pro asfaltové pružné membrány jsou pojiva 1, 2, 3 a 4. Ostatní pojiva podle TP 147 nevyhověly v důsledku obsahu vyššího podílu pryžového granulátu.

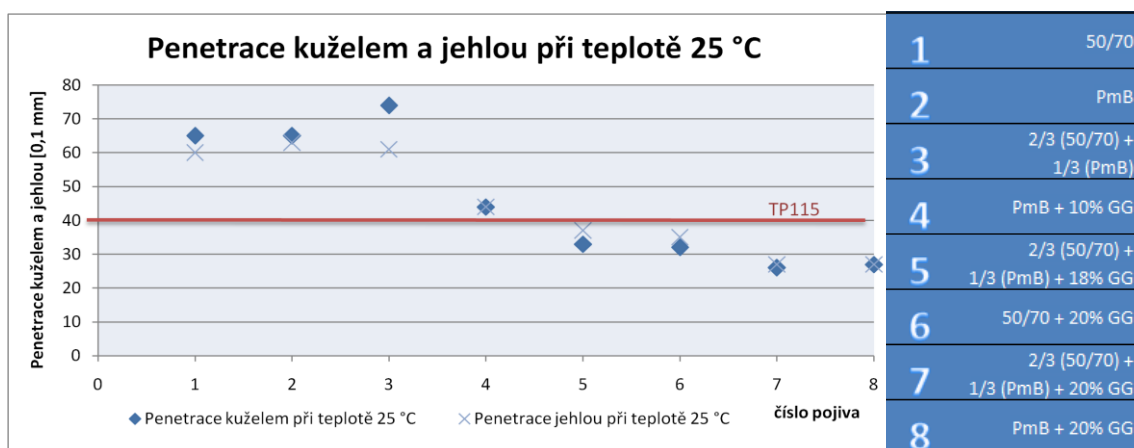
Jedním z možných řešení pro zvýšení penetrace jehlou asfaltových pojiv modifikovaných pryžovým granulátem by mohlo být zvolení menší frakce pryžového granulátu (např. frakce 0/0,4 mm) popř. snížení jeho obsahu.



### 4.3 PENETRACE KUŽELEM PŘI TEPLITĚ 25 °C

Tímto laboratorním postupem, podobně jako u penetrace jehlou, zjišťujeme schopnost průniku tělesa do zkoušeného vzorku (čili proměnnou vztaženou k viskozitě), které v tomto případě tvoří kónický kužel. Vzhledem k většímu vodorovnému rozměru vnikajícího tělesa by výsledné hodnoty průniku měly vykazovat menší hodnoty oproti penetraci jehlou a rovněž menší rozptyl výsledků. Větší rozměr kužele je kompenzován mírně větší hmotností vtlačované soustavy, proto jsou výsledky těchto zkoušek srovnatelné s penetrací jehlou, ale přesto ji nemohou nahradit. Výsledné hodnoty penetrace kuželem jsou zaznamenány v grafu č. 5.

**Graf č. 5: Hodnoty penetrace kuželem a jehlou při teplotě 25 °C**



Největší rozdíly mezi hodnotou penetrace jehlou a penetrace kuželem jsou u nemodifikovaných nebo jen slabě modifikovaných pojiv. Stejně jako v případě penetrace jehlou se s rostoucím obsahem pryžového granulátu hodnota penetrace kuželem snižovala.

Požadavek na penetraci kuželem při teplotě 25 °C na asfaltovou zálivku za horka je uveden v TP 115 a jeho hodnoty splňují pojiva 1, 2, 3 a 4.

### 4.4 STANOVENÍ BODU MĚKNUTÍ METODOU KROUŽEK A KULIČKA

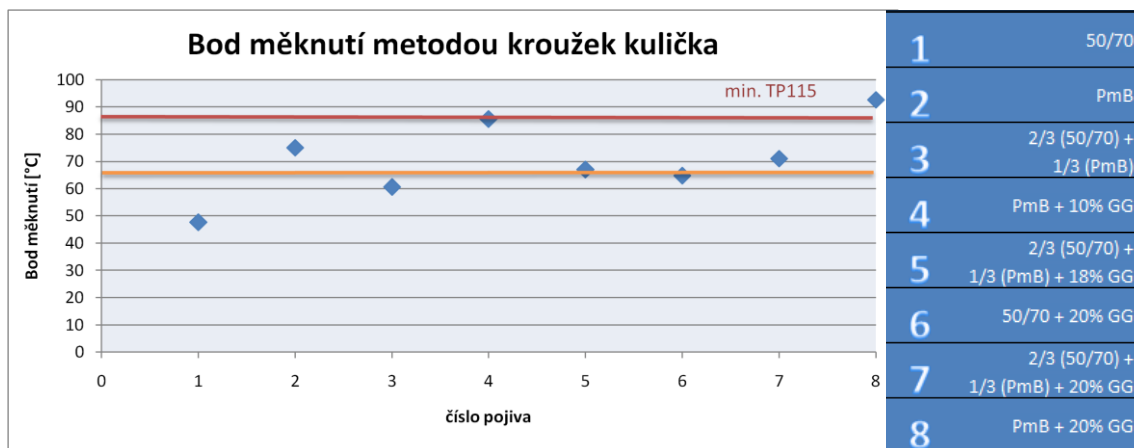
Tato laboratorní zkouška prokazuje důležitou charakteristiku asfaltových pojiv, která určuje horní hranici teplot pro setrvání v pevném skupenství. Výsledkem zkoušky je tzv. bod měknutí, jenž by se dal s určitým zjednodušením považovat za bod tání, tedy bod, při němž přechází látka ze



skupenství pevného do skupenství kapalného. Hodnoty bodu měknutí jsou graficky zachyceny v grafu č. 6.

Ve skutečnosti jsou tyto výsledky spíše funkčního charakteru zkoušeného pojiva. Pojivo ztrácí při dosažení bodu měknutí svou odolnost vůči viskózní deformaci.

**Graf č. 6: Výsledné hodnoty bodu měknutí metodou kroužek kulička**



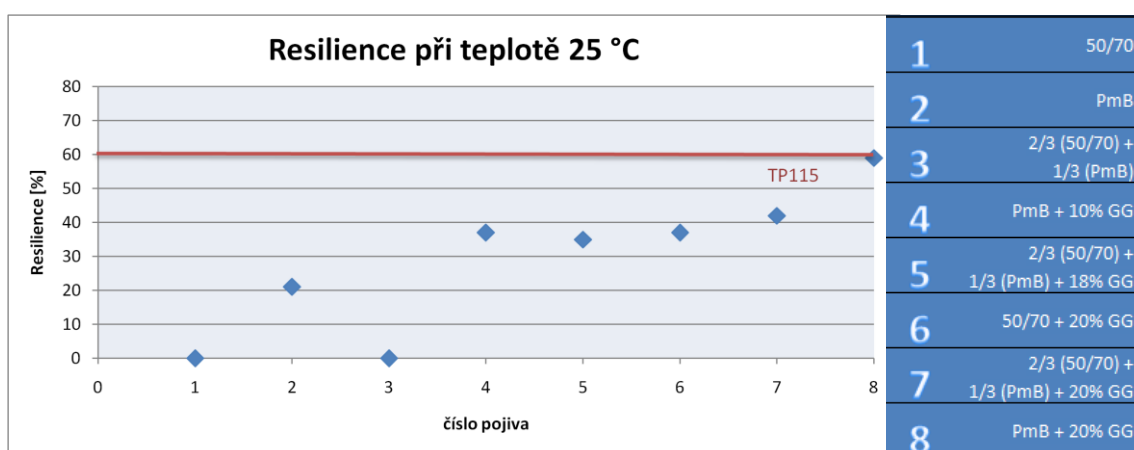
Hodnoty bodu měknutí opět ovlivňuje druh a množství modifikace. Účelem modifikace je v tomto případě zvýšit bod měknutí pojiva. Nejvyšších hodnot bodu měknutí bylo dosaženo kombinací polymerem modifikovaného asfaltu s pryžovým granulátem.

Požadavky na asfaltové zálivky za horka i na asfaltové pružné membrány, z nichž nejvyšší hodnotu podle TP 115 pro použití asfaltových zálivek za horka splňují pouze pojiva 4 a 8.

#### 4.5 PENETRACE A PRUŽNÁ REGENERACE (RESILIENCE)

Stanovené hodnoty této zkoušky jsou procentuálním vyjádřením návratu vzorku pojiva do původního stavu (resilience) po odtížení vnikajícího tělesa, v tomto případě kulovitého tvaru. Získané výsledky simulují z funkčního hlediska elastomerní vlastnosti pojiva ve skutečné skladbě konstrukce vozovky. Při krátkodobém zatížení vzniká přetvoření vozovky, jejíž trvalé deformace jsou nežádoucí.

**Graf č. 7: Výsledné hodnoty resilience**



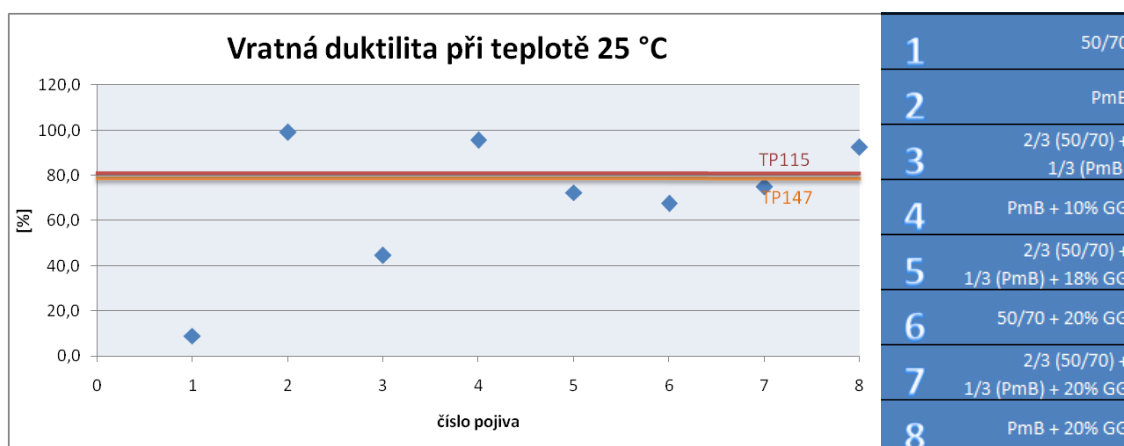
Požadované hodnoty na resilienci podle TP 115 pro použití asfaltových zálevk za horka nesplňuje žádný ze zkoušených vzorků. Limitní hodnota pro splnění této zkoušky je nelehce splnitelná. Je to dáno vysokými nároky na asfaltové zálevky za horka, které jsou vystavovány extrémním změnám tvaru například při použití u mostních závěrů, spár cementobetonových krytů či železničních přejezdů. Nejvyšší hodnoty resilience splňovalo pojivo 8, které kombinovalo polymerem modifikovaný asfalt s 20 % pryžového granulátu. Nemodifikované nebo velice slabě modifikované asfalty vykázaly při teplotě 25 °C nulovou hodnotu resilience.

#### 4.6 VRATNÁ DUKTILITA PŘI TEPLITĚ 25 °C

Zkouška provedená na vzorku pojiva poskytuje informaci o jeho pružnosti, čili schopnosti navrátit se do původního stavu po odtížení. Narozdíl od resilience, kde určité zatížení účinkuje do konce průběhu zkoušky, při vratné duktilitě po odtížení nepůsobí na vzorek žádné další vnější síly<sup>8</sup>. Průběh zkoušky je graficky zaznamenán v příloze č. 4.

<sup>8</sup> Na vzorek stále působí gravitační zatížení, které je však sníženo tím, že celý průběh zkoušky probíhá ve vodní lázni (vztlaková síla)

**Graf č. 8: Výsledné hodnoty vratné duktility při teplotě 25 °C**



V případě dané testované metody jsou požadavky na provedení asfaltových zálivek za horka a asfaltových pružných membrán shodné. Jejich limitním hodnotám vyhověly vzorky 2, 4 a 8. Nejnižší hodnotu vratné duktility vykázal nemodifikovaný silniční asfalt a nejvyšších hodnot dosahoval polymerem modifikovaný asfalt. Přídavek pryžového granulátu zvyšuje hodnotu vratné duktility kromě přídavku granulátu do polymerem modifikovaného asfaltu, přičemž vratná duktilita polymerem modifikovaného asfaltu se po přidání pryžového granulátu mírně snižovala.

## 4.7 CELKOVÁ MATICE VÝSLEDKŮ

V následujících tabulkách jsou přehledně shrnuty výsledné hodnoty laboratorních zkoušek, požadavky na jednotlivé parametry a tabulka, která udává splnění event. nesplnění požadavků jednotlivých parametrů pojiv podle TP 115 a TP 147.

**Tabulka č. 7: Tabulka zkoušek asfaltových pojiv**

Zkoušky	Dynamická viskozita při 175 °C [Pa.s]	Penetrace jehlou při 25 °C [0,1 mm]	Penetrace kuželem při 25 °C [0,1 mm]	Bod měknutí K.K. [°C]	Resilience při 25 °C [%]	Vratná duktilita při 25 °C [%]
1 50/70	0,18	60	65	47,7	0	9,0
2 PmB	1,10	63	65	75,1	21	99,0
3 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB)	0,24	61	74	60,6	0	44,5
4 PmB + 10% GG	2,60	44	44	85,6	37	95,5
5 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB) + 18% GG	7,00	37	33	67,0	35	72,5
6 50/70 + 20% GG	8,00	35	32	64,8	37	67,5
7 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB) + 20% GG	12,00	27	26	71,1	42	75,0
8 PmB + 20% GG	15,00	27	27	92,7	59	92,5

**Tabulka č. 8: Tabulka požadavků pro zálivky za horky a SAMI**

Požadavky	min.	min.	min.	min.	min.	min.
Zálivková hmota za horka dle TP 115	není požadavek	není požadavek	40	85	60	není požadavek
Asfaltová membrána dle TP 115	není požadavek	45	není požadavek	60	není požadavek	80
Asfaltová membrána dle TP 147	není požadavek	40	není požadavek	65	není požadavek	80

**Tabulka č. 9: Tabulka splněných požadavků**

Výsledky		Penetrace při 25 °C [0,1 mm]	Penetrace kuž. při 25 °C [0,1 mm]	Bod měknutí K.K. [°C]	Resilience [%]	Vratná duktil. při 25 °C [%]
1 50/70	Zálivka TP 115	není požadavek	ANO	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	ANO	není požadavek	NE	není požadavek	NE
	Membrána TP 147	ANO	není požadavek	NE	není požadavek	NE
2 PmB	Zálivka TP 115	není požadavek	ANO	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	ANO	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO
	Membrána TP 147	ANO	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO
3 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB)	Zálivka TP 115	není požadavek	ANO	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	ANO	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
	Membrána TP 147	ANO	není požadavek	NE	není požadavek	NE
4 PmB + 10% GG	Zálivka TP 115	není požadavek	ANO	ANO	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO
	Membrána TP 147	ANO	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO
5 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB) + 18% GG	Zálivka TP 115	není požadavek	NE	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
	Membrána TP 147	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
6 50/70 + 20% GG	Zálivka TP 115	není požadavek	NE	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
	Membrána TP 147	NE	není požadavek	NE	není požadavek	NE
7 2/3 (50/70) + 1/3 (PmB) + 20% GG	Zálivka TP 115	není požadavek	NE	NE	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
	Membrána TP 147	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	NE
8 PmB + 20% GG	Zálivka TP 115	není požadavek	NE	ANO	NE	není požadavek
	Membrána TP 115	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO
	Membrána TP 147	NE	není požadavek	ANO	není požadavek	ANO

## ZÁVĚR

Z provedených laboratorních zkoušek je možné sestavit následující závěry:

- zvyšující se obsah pryžového granulátu silně zvyšuje hodnotu viskozity pojiva, snižuje hodnotu penetrace a zvyšuje hodnotu resilience a vratné duktility,
- nejvyšší hodnotu dynamické viskozity dosáhl polymerem modifikovaný asfalt s vysokým obsahem pryžového granulátu,
- přísada pryžového granulátu do polymerem modifikovaného asfaltu mírně snižuje hodnotu vratné duktility,
- resilience i vratná duktilita silničního asfaltu je přibližně nulová,
- vyšší viskozitu i pružnost (resilience a vratná duktilita) vykazoval polymerem modifikovaný asfalt s přídavkem pryžového granulátu než silniční asfalt se stejným obsahem pryžového granulátu,
- zkoušky penetrace jehlou a penetrace kuželem vykazovaly srovnatelné výsledky
- pouze pojivo 2 splňovalo požadavky TP 115 na membrány a pojiva 2 a 4 splňovala požadavky TP 147 na membrány.

Možné východisko pro návrh nového složení modifikovaného asfaltového pojiva vhodného pro asfaltové membrány je použití polymerem modifikovaného silničního asfaltu Starfalt 45/80 (PmB) s přídavkem pryžového granulátu v množství menším než 20 % tak, aby byly splněny hodnoty penetrace i bodu měknutí. Problematická může být technologie nanášení membrány stříkáním z důvodu vysoké viskozity pojiva, bylo by možno použít technologii nanášení membrány stěrkou nebo přípravkem k nanesení filmu o tloušťce 3 mm. I toto lze řešit použitím množství granulátu 15 % při použití jemného granulátu s maximálním zrnem do 0,48 mm.

Jediným asfaltovým pojivem použitelným pro asfaltovou pružnou membránu na základě této práce je tedy pojivo 4 (polymerem modifikovaný asfalt Starfalt 45/80 s obsahem 10% pryžového granulátu). Samozřejmě s ohledem na skutečnost, že nebyly ověřeny zcela všechny zkoušky potřebné ke splnění požadavků na asfaltovou pružnou membránu uvedené v TP 115 a TP 147 a to bod lámavosti podle Fraasse a skladovací stabilita.

Další variantou by bylo pokračování v laboratorních zkouškách pojiv nevyhovujícím požadavkům, ale již s použitím laboratorních zkoušek funkčního charakteru, které slouží k co nejspolehlivější simulaci skutečného namáhání pojiva. S výhodou by bylo možné použít zkoušky na dynamickém smykovém reometru.

## SEZNAM POUŽITÝCH VZORŮ

1. **Services, Division of Engineering.** <http://www.asphaltrubber.org/>. *Asphalt-Rubber Information Database*. [Online] State of California Department of Transportation, Leden 2003. [Citace: 2. Květen 2013.] [http://www.asphaltrubber.org/ari/California\\_AR\\_Design\\_Guide/Caltrans\\_Asphalt\\_Rubber\\_Usage\\_Guide.pdf](http://www.asphaltrubber.org/ari/California_AR_Design_Guide/Caltrans_Asphalt_Rubber_Usage_Guide.pdf).
2. **Drive, Hugo.** Asphalt Rubber Technology Service. <http://www.clemson.edu>. [Online] CLEMSON UNIVERSITY, 2002. [Citace: 15. Březen 2013.] <http://www.clemson.edu/ces/arts/samsami.html>.
3. **OMV Česká republika, s.r.o.** OMV v Česku. <http://www.omv.cz/>. [Online] OMV Česká republika, s.r.o, 2013. [Citace: 10. Duben 2013.] [http://www.omv.cz/portal/01/cz/omv\\_cz/Produkty/Informace\\_o\\_vyrobcich/Asfalty\\_a\\_bitumeny](http://www.omv.cz/portal/01/cz/omv_cz/Produkty/Informace_o_vyrobcich/Asfalty_a_bitumeny).
4. **RPG Recycling, s.r.o.** Tire recycling. <http://www.rpgrecycling.cz/>. [Online] RPG Recycling, s.r.o., 2012. [Citace: 3. Únor 2013.] <http://www.rpgrecycling.cz/produkty/granulat-ve-frakcich/>.
5. **Jan Kudrna, Ondřej Dašek.** Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. *Technická podmínka*. Brno : Ministerstvo dopravy, 2011. ISBN 978-80-214-4409-6.
6. **Hýzl, Petr, a další.** Využití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci. *Technická podmínka*. Brno : Ministerstvo dopravy, 2010.
7. **Neuvirt, Václav.** Opravy trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem. *Technická podmínka*. Brno : Ministerstvo dopravy, 2009.
8. **Plitz, Jiří a Víchová, Ladislava.** Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. *Česká technická norma*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
9. **PDC SIMOST, s.r.o.** Regenerace a údržba komunikací. <http://www.pdcsimost.cz/>. [Online] PDC SIMOST s.r.o., 2010. [Citace: 11. Duben 2013.] <http://www.pdcsimost.cz/technologie/>.
10. *Proceedings Asphalt Rubber.* **Jorge B. Sousa, Rongji Cao.** Nanjing : Beijing Kun Tai Shi Ji Printing Co., Ltd., 2009. ISBN 978-988-18681-1-4.

11. **Plitz, Jiří a Víchová, Ladislava.** Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů. *Česká technická norma*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

12. **Hampl, Vladimír, SILMOS, s.r.o. a INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a.s.** Zálivky za horka - Část 2: Zkušební metoda pro stanovení penetrace kuželem při 25 °C. *Česká technická norma*. Praha : Český normalizační institut, 2004.

13. **Hampl, Vladimír, SILMOS, s.r.o. a INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a.s.** Zálivky za horka - Část 3: Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience). *Česká technická norma*. Praha : Český normalizační institut, 2004.

14. **Plitz, Jiří, Bílá, Jitka a PARAMO, a.s.** Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou. *Česká technická norma*. Praha : Český normalizační institut, 2007.

15. **Plitz, Jiří, Bílá, Jitka a PARAMO, a.s.** Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. *Česká technická norma*. Praha : Český normalizační institut, 2007.



# SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha č. 1: Pryžový granulát 0/1 Kovosteel**

**Příloha č. 2: Připravené zkušební vzorky CRmB**

**Příloha č. 3: Odzkoušený vzorek CRmB po dosažení bodu měknutí**

**Příloha č. 4: Průběh zkoušky vratné duktility při 25 °C**

## PŘÍLOHY

**Příloha č. 1: Pryžový granulát 0/1 Kovosteel**



**Příloha č. 2: Připravené zkušební vzorky CRmB**



**Příloha č. 3: Odzkoušený vzorek CRmB po dosažení bodu měknutí**





#### Příloha č. 4: Průběh zkoušky vratné duktility při 25°C

